

水 質 汚 濁 と 上 水 道

小 島 貞 男
(東京都水道局)

The Effects of Pollution on Water Supply
Sadao KOJIMA
Tokyo Metropolitan Water Supply Bureau

1 緒 言

用水処理の目的はいうまでもなく天然水の水質を改善して使用目的にかなうような水を作ることにある。工場でいえば原料である地下水や河川水を加工して品質規格に合格する製品を作ることになる。したがって原料が悪くなれば製品の質は当然落ちるし、それでも品質の低下を防ごうとすれば製造機械や工程に金をかけなければならなくなる。

例えば原水の水質が悪化すれば処理薬品を増し、浄水施設を増強し、あるいは浄化方式を改変しさらに水質監視態勢を強化するなどの必要が生ずるし、最悪の場合には浄水施設の放棄、移転などの事態をも生ずる。

ところで我が国における最近の河川水質の悪化は極めて急速で、しかも北は北海道の石狩川から南は九州の遠賀川、大淀川に到るまで全国各地に及んでいる。事実、六大都市水道で汚濁問題が起きていないのは琵琶湖の水を用いている京都市くらいのものである。

表一 水道水源に関係ある地表水の水質汚濁

水 域 名	主 な 被 害	主 な 汚 濁 源
石 狩 川	水道、水産、農業	鉱山排水、紙パルプ工場排水
阿 武 隈 川	水道、水産	パルプ排水、化学工場排水
多 摩 川	水道、水産、農業	都市下水、し尿処理場・各種工場排水
江 戸 川	水道、水産	各種工場排水、都市下水
木 曽 川	水道、水産	紙パルプ工場・化学工場
大 和 川	水道、水産、農業	都市下水、各種工場排水
淀 川	水道	都市下水、各種工場排水
加 古 川	水道、水産	染色工場・パルプ工場排水
財 田 川	水道	製紙工場排水
遠 賀 川	水道、農業	鉱山（炭鉱）排水
大 淀 川	水道、水産	でん粉排水
鈴 鹿 川	水道、水産	でん粉排水、都市下水

備考：小林他¹⁾の資料を一部改変した。

もっとも京都市でも近年琵琶湖の富栄養化によるプランクトンの障害を受けているから、これも汚濁問題の一つと数えることもできる。

これらの河川中、主要なものをあげると表-1 のようになるが、中でも東京都の水道水源となっている多摩川や堺市で使用している大和川などは近年急激に悪化したという点で東西の代表的な汚濁河川といえることができる。

以下主として多摩川を例にとり欧米の汚濁河川と対比しながら、汚濁水質の特徴、推移、被害、水処理対策などについて述べてみたいと思う。

2 都市排水汚濁による水質の変化

河川水が都市排水によって汚濁された場合、その水質はどのように変化するであろうか。

図1～5は多摩川における過去20年間の平均水質の推移を示したものであるが、これをみると、ほとんど変化していないものから著しい増加が見られるものまであることがわかる。すなわち図-1のように濁度と硝酸性窒素とは近年僅かに増加しているが、大きな変化は見られない。つまりこれらの成分は汚濁によってあまり変わらないということになる。

これに対して硬度、アルカリ度および硫酸イオンなどは年と共に徐々に増加していることが認められる(図-2)。そして、さらに図-3に示した比導電率、過マンガン酸カリウム消費量(COD)、塩素イオンなどになると一層増加が明瞭となってくる。

しかし最も著しい増加は酸化分解途中の窒素成分とバクテリアとにみられる。(図-4～5)

すなわち、図はこれらの成分の対数値がほとんど直線的に増加しつつあり、とくに36年頃からは一段と急増していることを示している。

これとほぼ同じような傾向を示す成分にABSやBODがある(図-5)が、前者は都市下水による汚濁の一特徴と見ることができる。

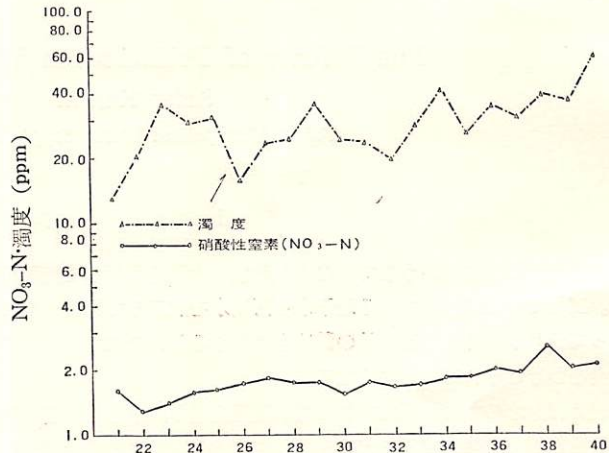


図-1 多摩川における濁度、NO₃-Nの経年変化

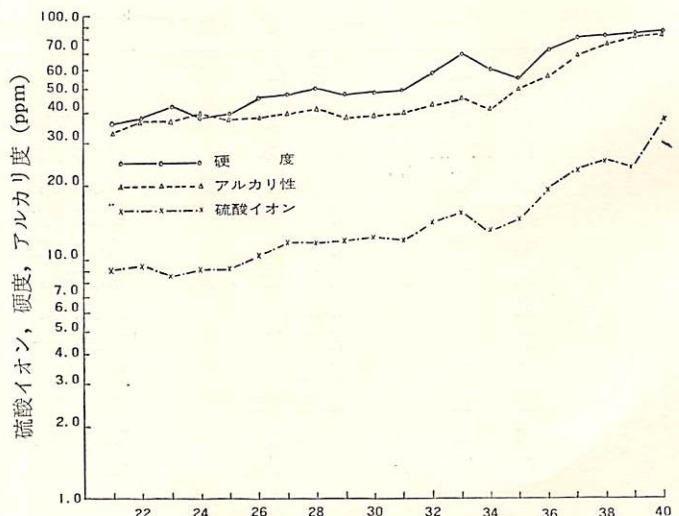
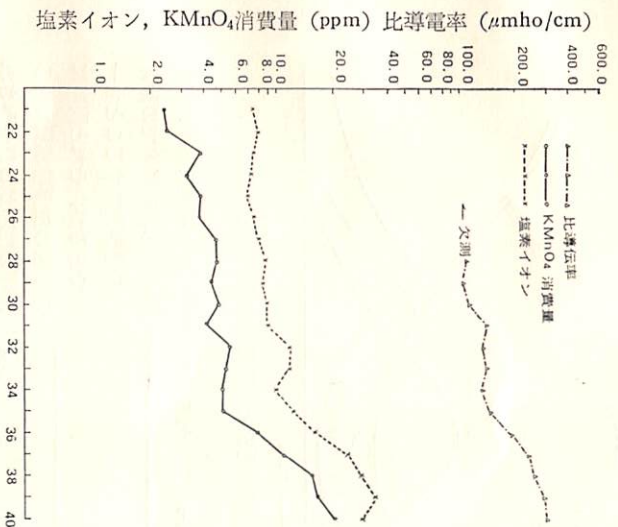
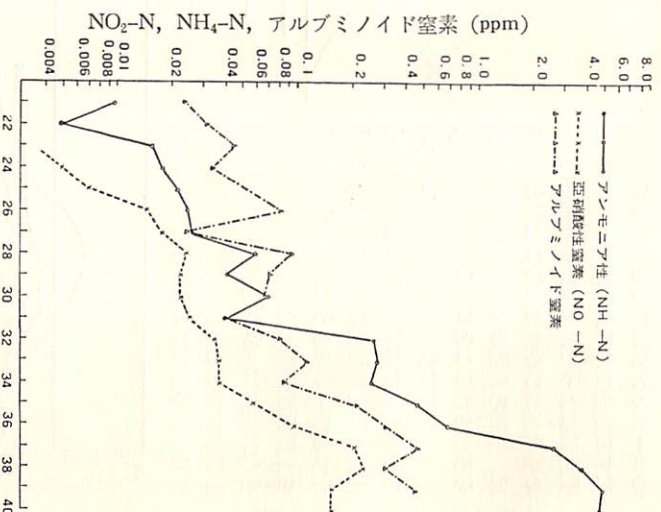


図-2 多摩川における硬度、アルカリ度、硫酸イオンの経年変化



図—3 多摩川における比導電率, KMnO_4 消費量および塩素イオンの経年変化



図—4 多摩川におけるアンモニア性-N, 亜硝酸性-Nおよびアルミニウム-Nの経年変化

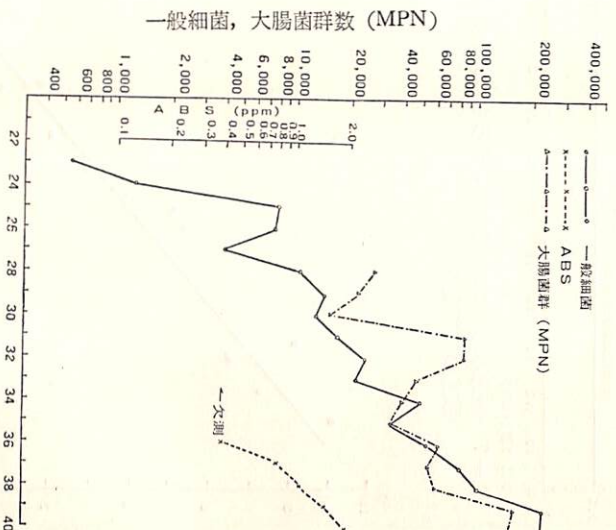
以上要するに都市排水による汚濁では有機物の分解産物で酸化過程にある各態窒素や細菌類 ABS, BODなどに結も顕著な変化がみられ、これらの成分がよい汚濁指標となることを示している。

3 水質汚濁と浄水処理

汚濁が進んで前述の如き成分が増加すると浄水処理にいろいろ障害が生ずる。もっとも浄水処理といっても目的によっていろいろな方式がある。例えば水道では主として緩速砂ろ過法や急速砂ろ過法を用いるが、工業用水ではこれ他に精密ろ過法やイオン交換法などが用いられている。水質汚濁はこれらの処理方式に対してそれぞれ異った性質、程度の影響を与えるので、以下主として緩速および急速ろ過法についてその影響を述べることにする。

(1) 緩速ろ過法

緩速ろ過法とは1日に3~6mというゆっくりした速度で砂ろ過を行い、この間砂面の表面に形成される生物膜やろ砂の表面を包む微生物



図—5 多摩川における一般細菌数、大腸菌群数およびABSの経年変化

のコーティングの働きを利用して浄化する方法である。したがって、水質汚濁によって、これら微生物群の生活がおびやかされることがあれば、緩速ろ過法の浄化機能は根本から破壊されることになる。

今、実際に多摩川から取水している砧浄水場での経験を基にして水質汚濁と浄化機能との関係を模式的に示すと図-6 のようになる。すなわち水質汚濁が進むと原水中の汚濁成分(これをアンモニア性窒素で代表)が増加するとともに溶存酸素が減少するが、やがてこの影響は濾過水の溶存酸素の激減となって現われる。これは汚濁によって原水中の有機

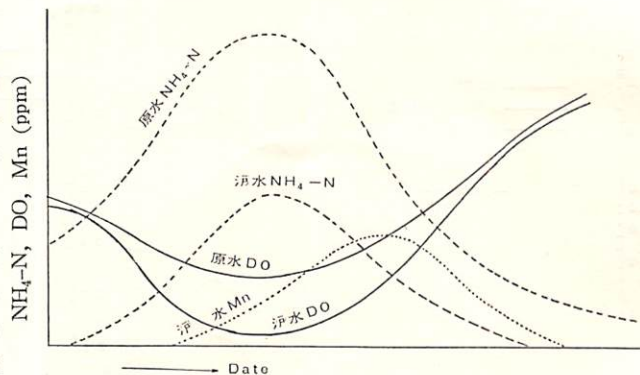


図-6 原水汚濁と緩速ろ過水の水質変化(模式図)

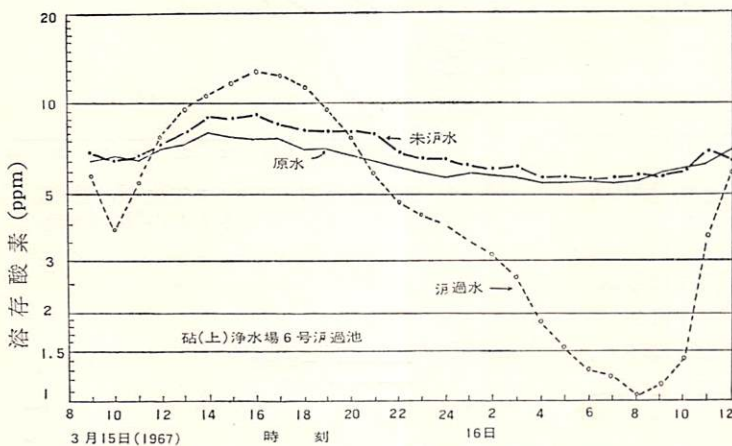


図-7 緩速ろ過池における原水、未ろ水およびろ過水の溶存酸素の日周変化

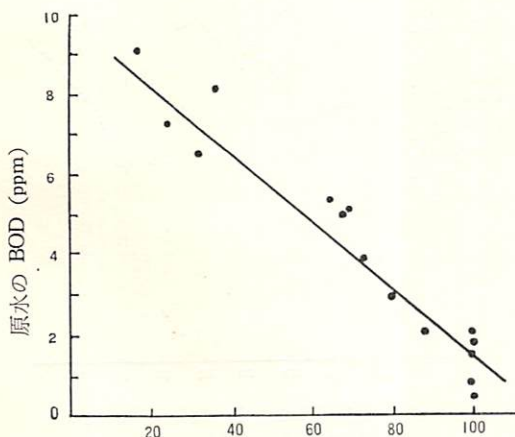


図-8 原水のBODとアンモニア性窒素の除去率

物が増し、砂層内での酸素消費量が増加することも一因であるが、それと同時にろ過膜の主要構成員である藻類の生存がおびやかされる結果、ろ過膜の酸素供給量が激減するからである。

図-7はろ過膜藻類がまだ活動しているときの状態を示す実測値であるが、これによると昼間ろ過した水には溶存酸素が十分に含まれ最高 12ppm にも達しているが、夜間ろ過した水は最低 1 ppm まで減少している。昼間の酸素増加は勿

論、ろ過膜藻類によって供給されたもので、汚染がさらに進めば昼間の酸素供給がなくなるからろ過水中の溶存酸素はさらに減少し、ついには無酸素状態になる。

ろ過水中の酸素が、0.5ppm を割る頃からろ過水にもアンモニアが現われるようになり、次いでマンガンが溶出し浄水の色度を増すようになる。このようになると緩速ろ過池の機能はまったく失われ浄化は不可能となる。図-8は原水の BOD が増すとほぼ直線的にアンモニアの除去率が減少することを示している。

(2) 急速ろ過法

急速ろ過法とは 1 日に 120~200m という速

い速度で砂ろ過する方法であるが、この方法では凝集剤の力を借りて浄化を行うのである。したがって薬剤の種類や量を増せば汚濁された水でも浄水処理することができる。つまり緩速ろ過法に比べて汚濁に対する適応力が強いといえることができる。

たとえば、まずアンモニア性窒素であるが、これに対しては塩素を加えて分解してしまうのである。水の中にあるアンモニア性窒素の量はせいぜい10数 ppm 程度であるから、アンモニアそのものが有毒だというわけではないが、アンモニアがあると塩素の殺菌酸化力が激減して有効安全な浄水処理ができなくなるのである。というのは塩素はアンモニアに会ったと結びついてクロラミンとなり消毒力が $\frac{1}{20}$ 以下に減ってしまう。同様に酸化力も弱まるので鉄、マンガンの除去が不十分となり臭気の除去もうまくゆかなくなるからである。

一方 ABS に対しては活性炭を用いて吸着させれば確実に除去することができる。すなわち粉末活性炭を注入混和して吸着させたのち、凝集沈殿と砂ろ過によって活性炭を分離するか、あるいは粒状活性炭層を用いてろ過するのである。

また有機物（過マンガン酸カリウム消費量や BOD で現わされる）に対しては凝集沈殿、塩素処理および活性炭処理によって除去することができるし、シアンは塩素処理による酸化で無毒化できる。

一方農業や臭気に対しても活性炭処理が有効であり、病原菌を始めとする細菌類は塩素処理によって確実に撲滅できることはいうまでもない。

以上のようにいうと急速ろ過法は万能で、どんなに汚濁された水でも浄化できるように聞えるが、決して、そうではない。第1に経済性に問題があり、第2は安全性ないし作業上の問題、そして第3には処理水の水质に難点があるからである。

図-9は多摩川の水に塩素注入を行ったときの残留塩素曲線であるが、これによるとアンモニア性窒素を含んだ水は塩素注入率の低いところでは結合型残留塩素を生ずること、さらに注入率を増すと残留塩素が激減するところ（不連続点）があること、そしてこの点を境にして遊離型塩素が現われることなどが判る。そこで消毒や酸化効果を十分発揮させるためには不連続点を越えた量の塩素を注入しなければならないが、図でみるように多摩川の水ではアンモニア性窒素量の10倍（時に12倍まで）の塩素が必要である。つまりアンモニア性窒素が5 ppm（最近のほぼ平均値）あれば約 50ppm の塩素を注入する必要がある、15ppm あれば（ほぼ最高値）150~180ppm の塩素を必要とすることになる。

普通の塩素消毒では1 ppm かせいぜい 2 ppm も注入すればよいことを考えると上記の量が如何に莫大なものであるかがうかがわれるであろう。

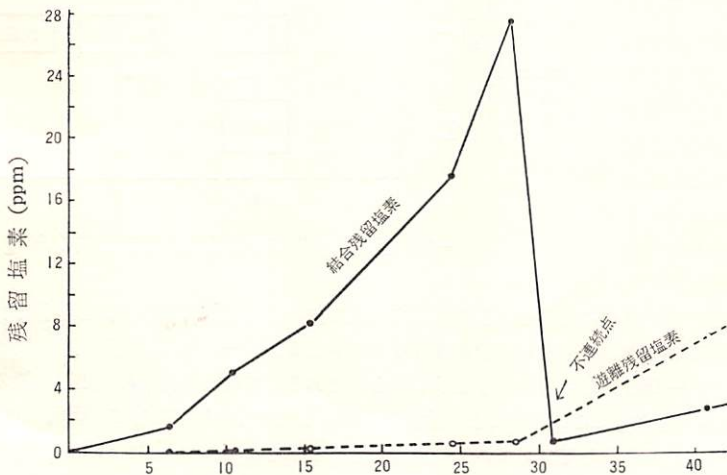


図-9 塩素注入率と残留塩素との関係（玉川浄水場）

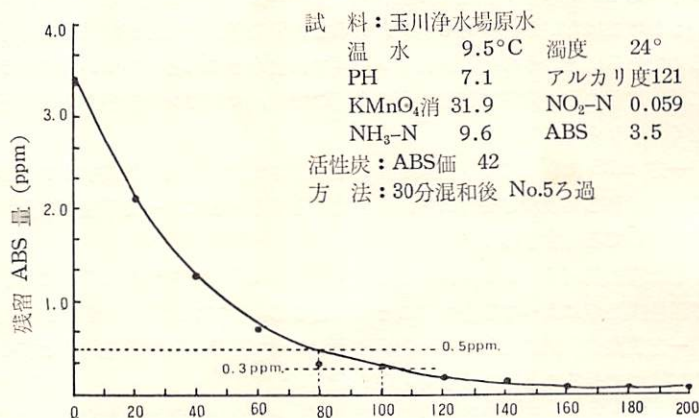
塩素注入量が多くなると、それに付随してアルカリ剤が必要となる。すなわち塩素は反応の結果塩酸となつて水中のアルカリ分を消費するから、これを補充しなければならないが、その量は苛性ソーダで塩素の約1.1倍、ソーダ灰では約1.4倍を必要とする。

次に ABS に対する活性炭処理であるが、これも図—10にみるように決して少なくないのである。ABS は僅かな量(約 0.5 ppm)で泡立ちを起させるので、水道水の水質基準でも 0.5 以下と決められているが、いま図—10によって計算すると 3.5ppm の ABS を 0.5ppm まで除去しようとすれば約 80ppm の活性炭を必要とし、安全性を見込んで 0.3ppm まで下げようとすれば実に 100ppm も注入しなければならないことになる。つまり前者では ABS 濃度の約 23 倍、後者では約 30 倍ということになる。

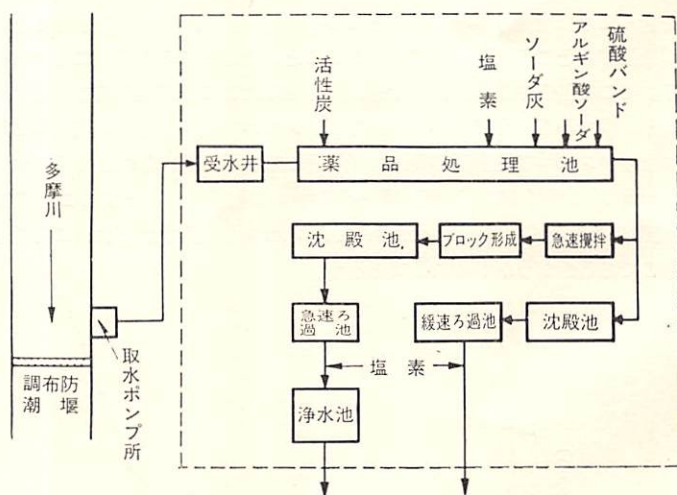
臭気に対しても活性炭処理が有効であることは既に述べたがこれも大量に用いないと効力ない。

一方、活性炭処理を行うと、特に冬季には活性炭の微粉末がろ過層を通り抜けて浄水中に混入することがあるが、これを防ぐ目的で凝集補助剤(アルギン酸ソーダや活性シリカ)を併用する必要も生ずる。(ただし凝集剤として硫酸ばん土のかわりにポリ塩化アルミニウムを用いれば凝集補助剤はいらない²⁾)

以上のように汚濁原水の処理にはいろいろな薬品を大量に注入しなければならない、しかもそれぞれの薬品注入点に制約があるので新しく薬品処理池を設ける必要が起る。図—11は東京都玉川浄水場における薬品処理方式を、また図—13は処理施設の様子を示したものである。すなわち従来の前処理施設の前に新しく薬品処理池を設け、原水をここに導いてまず活性炭を注入し約40分余り混和して ABS、有機物などを十分吸着させたのち塩素を注入してアンモニア性窒素を分解するとともにソーダ灰を注入して中和する。ついでアルギン酸ソーダおよび硫酸ばん土を順々に注入してから従来通り急速攪拌、緩速攪拌(フロキュレーション)を行って沈殿池に導く。ここで浮遊物や活性炭の大部分(90%程度)を落したのち急速砂ろ



図—10 粉末活性炭の注入率と残留 ABS との関係



図—11 玉川浄水場における薬品処理方式 (1965)

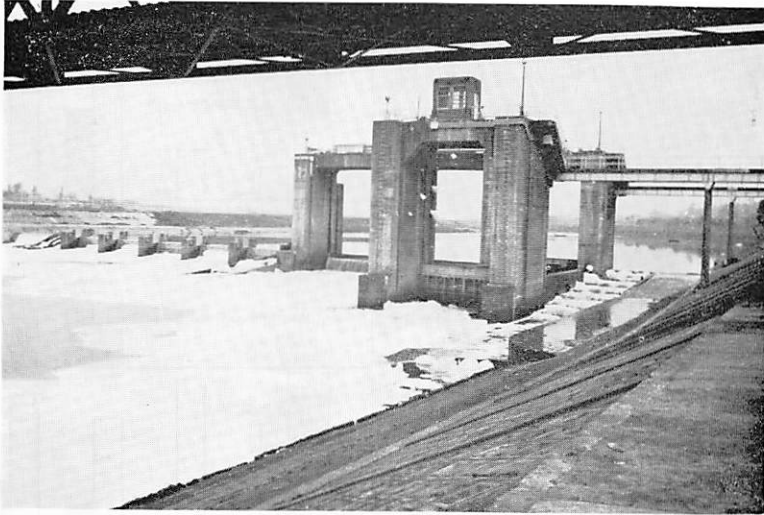


図-12 多摩川における発泡状態

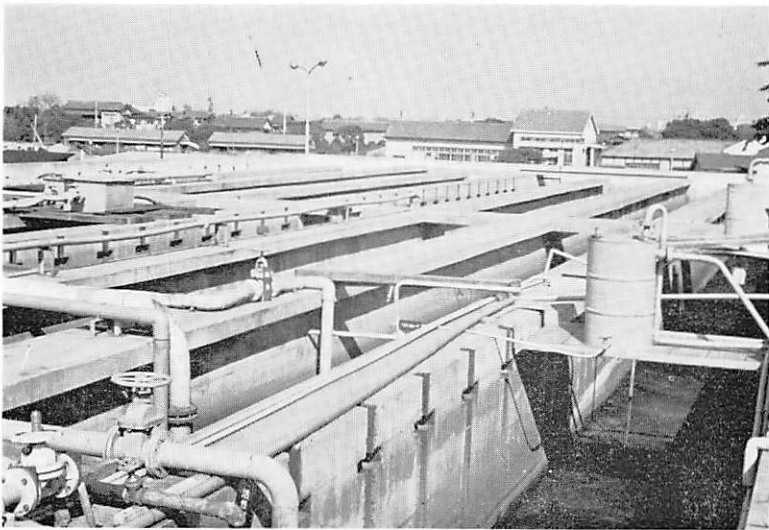


図-13 玉川浄水場における薬品処理施設

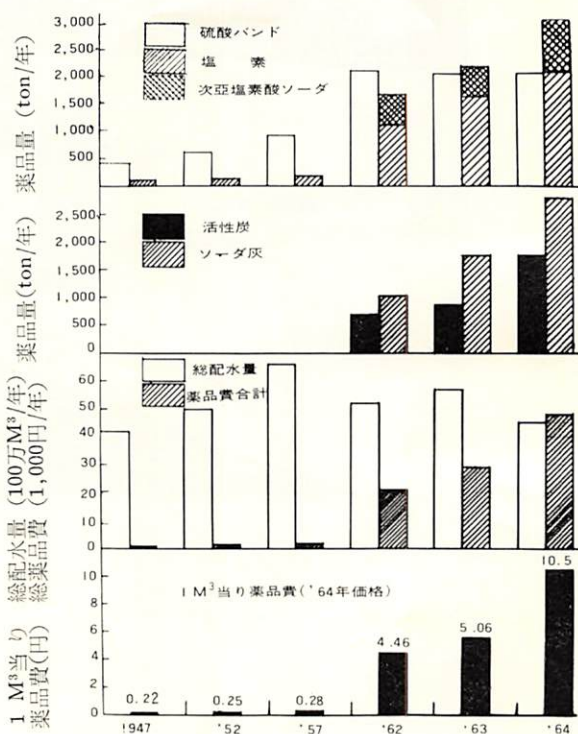
過で残りの浮遊物を除き最後に再び少量の塩素を加えて消毒を行っている。ただし最近ではソーダ灰のかわりに苛性ソーダを用い、硫酸ばん土をポリ塩化アルミニウム (PAC) にかえたのでアルギン酸ソーダは不要となった。

次に上記処理の経済性を検討したところ図—14~15のような結果となった。すなわち図—14は多摩川が汚染された結果、薬品量、配水量および薬品費がどのように変って来たかを示したものである。これによると多摩川がきれいであった1957年までは浄水薬品は硫酸ばん土と塩素だけで、その量も年間僅かに前者は400~900ton、後者は90~180tonにすぎなかったこと、それが1962年以降は汚濁の進行と共に急増し、ことに塩素使用量(次亜塩素酸ソーダを含む)は年間3,000ton余、つまり15倍以上に増加したこと、そして1962年からは活性炭とソーダ灰とが新たにこれに加わり、それ等の量も年々急増したことなどを読み取ることができる。

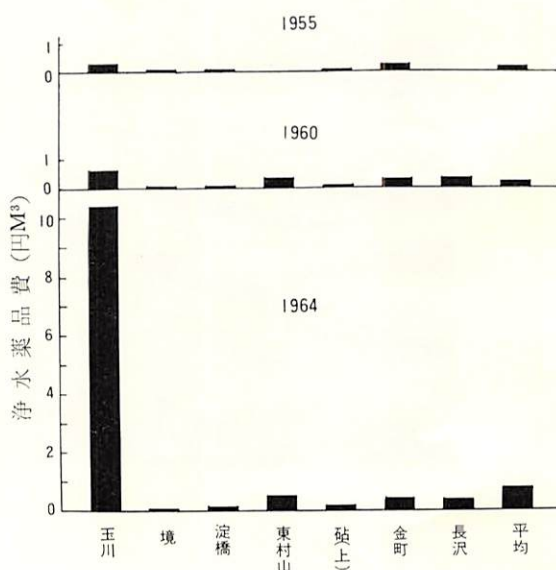
したがって、これらの薬品費を合せた総薬品費は同図の3段目に示したように1962年以降急激に増加することになるが、この間処理した水量(配水量)は薬品を使わなかった頃に比べてむしろ減少している。

そこで1m³当りの処理薬品費を計算してみると同図下段の通りで汚濁前の22~28銭(1964年の価格に換算)に対して実に10.52円にまで上っている。

さらに、この価格を他の浄水場のそれと比較してみたのが図—15であるが、玉川浄水場の処理薬品費がいかに高いかが一目瞭然であろう。すなわち多摩川が未だ汚濁されなかった1955年には玉川浄水場の薬品費も他の浄水場と大差なかったし、汚濁の程度が低い間は(1960年)他の急速系浄水場に比べて甚しく多いというわけではなかった。ところが1964年になると東村は0.48円、金町は0.36円、そして長沢は0.33円で依然大差ないのに対して玉川はこの間一挙に10.4円にはね上り他の浄水場の20倍以上に達している。



図—14 玉川浄水場における薬品処理費の経年変化



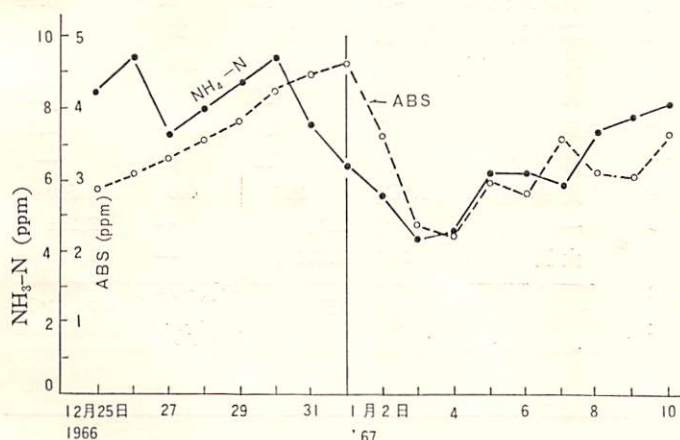
図—15 浄水場別処理薬品費の比較 (東京都水道)

原水汚濁による第2の問題点は処理作業がむずかしく安全性の確保に非常な努力が要ることである。すなわち汚濁物質量は時間によっても日によっても変化するが、絶えずこの変化を把握して、それに対応する薬品注入をしなければならない。しかもその量は意外に大きいのである。例えば図—16は1966年暮から1967年正月にかけてのアンモニア性窒素とABSの変化であるが、前者は30日に最高となり2日に最低となるのに対しABSは1日に極大値を示し4日に最小となる。これはバキュームカーは28日で仕事おさめとなって休むのに対し家庭の洗い物は31日の大みそかまでつづき、しかもその頃が最高調であるためと推定される。いずれにしても両者ともその量は約半減するので塩素および活性炭の注入率はこの間に50ppm位減らさなければならない。したがってアルカリ度調整のための苛性ソーダもそれ以上の減量調整を行わねばならないことになる。

日周変化はこれよりずっと小さいが、それでも10%程度の時間的変化は常に覚悟しなければならないからアンモニア性窒素が10ppmあれば1ppm変化することになり塩素注入率は10ppm変ることになる。したがってこの変化に気付かなければ塩素が10ppm多すぎるか、または不足するという結果になり、どちらの場合も水道水としては使いものにならなくなる。

このような変動に対して絶対間違いのない処理をするためには精神的にも肉体的にもかなりの負担がかかるものである。

また粉末活性炭の注入作業は粉末の飛散によって身体がよごれるので、きらわれるし、これを含む沈殿汚泥は放流先の河川で公害の原因となることもある。



図—16 多摩川の年末年始における水質変化

一方工場排水が流入する場合は毒物混入の危険もあり、これを常時監視するものなかなかの苦労を伴う。

第3の問題は処理水の水質である。つまり上記のように沢山の薬品を用いて処理した水は浄化薬品のために溶解成分が増し、味が悪くなるばかりでなく腐食性を増して鉄管をいため、赤水の原因となるのである。

例えば玉川浄水場で上記処理を行った浄水の比導電率は原水の比導電率に比べて30~

40%上昇するが、夏季は $350\mu\sigma/\text{cm}$ を起えると赤水障害が起り勝ちとなり冬季でも $500\mu\sigma/\text{cm}$ 以下におさえる必要があることが経験的に判っている。

しかし溶解成分を減らすことは、もはやこの種の処理では不可能であるから溶解成分の少ない他系統の水を混ぜて上記導電率以下になるように調整する以外に方法はない。

したがって急速ろ過法も水質的に自ら処理の限界が存在することになる。

4 対 策

用水処理からみた汚濁対策としては汚濁水を処理するにはどんな方法を用いたらよいかという、いわば自衛的な対策と水源の汚濁を防ぐにはどうしたらよいかという積極的対策とがある。いまこれらの対策を考えるに当って汚濁問題の先輩国である欧米の実状を参考にしたいと思うが、それにはまず日本の汚濁が

外国の河川に比べてどんな特殊性をもっているのかを明かにしてみたい。

(1) 日本河川の汚濁特性

i) 汚濁成分から見た特徴

表一2はヨーロッパの代表的汚濁河川であるライン河とテムズ河との年平均水質を多摩川のそれと比較したものであるが、これを見ると汚濁指標成分に著しい差異があることがわかる。すなわち多摩川の硝酸性窒素はライン河とほぼ同じであるのにアルブミノイド窒素は約2倍、アンモニア性窒素では4倍も多い。

さらにこれをテムズ河と比較すると、この傾向はもっと著しい。例えば硝酸性窒素は多摩川の2倍もあるのに反してアンモニア性窒素は約 $\frac{1}{10}$ しかない。

つまり日本の場合は窒素化合物がまだ十分酸化されていない状態であるのに反してヨーロッパの河川では酸化安定化が十分進んでいることを示している。

第2の特徴はバクテリア数に甚しい差があることで、テムズ河と比較すると二桁も違うことがわかる。これは主としてテムズ河では下水や有機性排水が十分酸化処理されてから流入するのに、多摩川では無処理のまま流し込まれることによって生ずる違いであると考えられる。

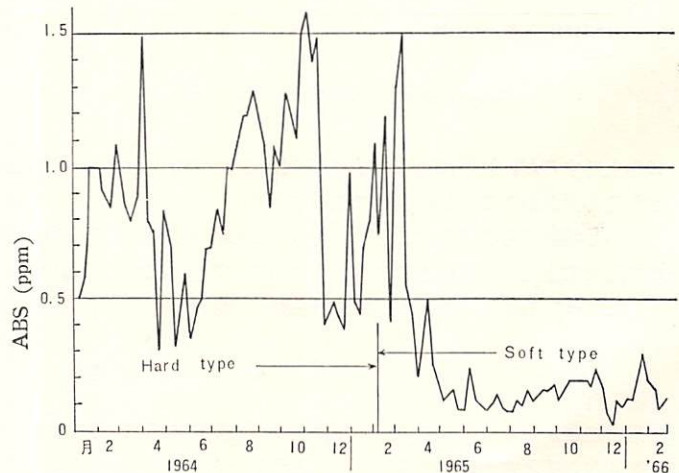
そして第3はに多摩川のABS量は日本より数年間も前から騒がれていた両河川のそれをはるかに追いついてしまったという点である。もっともライン河の場合は、図一17のように1965年初までは1.5ppmほどあって発泡に苦しんだがドイツのソフト化によって一気に $\frac{1}{2}$ に減ったものだという³⁾。

ii) 周年変化からみた特徴

日本の河川のもっとも著しい特徴の1つは流量の年変化が著しいことである。すなわち洪水の時は莫大な量の水が流れて大きな害を与えるのに、渇水期になると水量は激減してチョロチョロ流れとなる。したがって年間の最大流量と最小流量との比（これを河況係数

第一2 日本とヨーロッパの汚濁河川の水質比較
(1964年平均)

項 目	多 摩 川	ライン河	テ ー ム 河
濁 度	36.2	31.0	10
pH	6.99	7.45	7.8
アルカリ度	84.8	131	—
塩素イオン (Cl ⁻)	35.1	121	34
硝酸性 -N	2.08	2.54	5.0
亜硝酸性 -N	0.16	0.06	—
アンモニア性 -N	5.16	1.38	0.63
アルブミノイド -N	0.47	0.28	0.19
KMnO ₄ 消費量	16.8	30	—
総 硬 度	86.2	327	262
A B S	1.51	0.12	0.32
B O D	5.87	—	3.8
溶 存 酸 素	5.3	6.6	—
比 導 電 率 (18°C)	297	669	540
一般細菌数 (1 ml中)	281,000	—	2,271
大腸菌数 (100 ml中)	112,400	—	3,770
備 考	玉川浄水場取水点	アムステルダム市水道取水点	ロンドン市水道取水点



図一17 ライン河におけるABSの経年変化

という)をとってみるとわが国河川の値は外国のそれに比べて非常に大きい。

例えばライン河の16, テームズ河の8, セーヌ河の34に対して最上川304, 利根川850そして多摩川では425となっている。

流量変動が大きいということは必然的に水質, ことに汚濁成分の変動を大きくする。なぜなら河川に流入する汚濁物質量は流量に関係なく一定であるから, その濃度は流量に逆比例して変化するからである。

表一3はライン河下流(アムステルダム市水道の取水点)と多摩川下流(玉川浄水場の取水点)とにお

表一3 ライン河と多摩川の年間水質変動

項 目	ライン河(1964)			多 摩 川(1964)		
	最 高	最低	比	最 高	最低	比
比導電率 (18°C)	1070	425	2.5	500	118	4.2
KMnO ₄ 消費量	45	19	2.4	75	4.4	17.0
Cl	232	51	4.5	65	17.3	3.8
NO ₂ -N	0.14	0.02	7.0	0.52	0.02	26.0
NO ₃ -N	3.5	2.0	1.7	4.0	0.1	40.0
NH ₄ -N	4.3	0.46	9.5	16.0	0.21	76.9
アルブミノイド-N	0.42	0.15	2.8	0.8	0.13	6.1
溶 存 酸 素 (O ₂)	10.4	3.3	3.2	9.2	3.4	2.6
酸 度	13.0	3.5	3.7	21.5	6.7	3.2
鉄 (Fe)	3.8	0.50	7.6	2.40	0.36	6.7
浮 遊 物 質	64.8	10.0	6.5	(1.400)	(8)	175.0
A B S	0.43	0.01	4.3	3.85	0.10	38.5

備考:1) 単位は mg/l。

2) 多摩川の浮遊物は濁度をもって代用した。

が十分行われておらず, 細菌が甚しく多いこと, つまりヨーロッパの枯れた汚濁に対して生の汚濁であること。極端に汚れたときときれいなときとがあり, その差が甚しいことなどである。

そして, 前者は下水道が普及していないために無処理の都市下水やし尿処理という変則的処理の産物が流入することにあり, 後者は日本の降雨特性や地形形状の特殊性によるものと考えられる。

(2) 汚濁河水の処理対策

i) 緩速ろ過法における対策

原水が汚染されると緩速ろ過法は成立たなくなることを前に述べたがヨーロッパではライン河やテムズ河を水源として立派に緩速ろ過法で浄化している。しかも彼等は汚染された水の浄化には緩速ろ過法が最も安全でしかも経済的であるという。これは一体どうゆうわけであろうか。

まずライン河を水源にしているアムステルダム市の処理方式を見ると次のような工程をふんでいる⁹⁾。

① 河畔に設けたろ過場で粗ろ過を行う。ろ材としては径2~3mmの細い砂利を用い70~120m/dの速度でろ過する。

② 上の処理水をポンプ圧送によって約60km離れた砂丘に送り砂丘内に縦横に掘った開渠によって浸透させる(浸透期間約2ヶ月)

③ 上記の水を地下水として取り出し①と同様の粗ろ過にかける。ここでは時に脱臭の目的で少量の活性炭を使用することがある。

④ 緩速ろ過(ろ速9m/d)にかける。

⑤ 塩素消毒(1~0.5ppm)を行う。

つまりここでは緩速ろ過にかける前に粗ろ過2回と砂丘浸透とを行って水質改善をはかっていることが

ける1964年中の水質変化を示したものであるが, ライン河に比べて多摩川の水質変動がいかに大きいかがうかがわれる。

例えば浮遊物質(濁度)の変動比はライン河の6.5倍に対して多摩川は175倍もあり, アンモニア性窒素ではライン河の9.5倍に対して76.2倍も変化することを示している。

その他多摩川では亜硝酸性窒素も硝酸性窒素でも, またKMnO₄消費量, ABSなどもいづれもライン河に比して数倍ないし数10倍の変動がみられる。

以上要するにわが国河川の汚濁特性は有機物の無機化安定化

特徴で、その成果は表—4の通りである。

またテムズ河を水源とするロンドン市の水道の例をみると河水をいったん貯水池に入れ約2カ月間貯水したのち、粗ろ過またはマイクロストレーナーにかけ、そのあとで緩速ろ過池に導くようにしている。

粗ろ過はアムステルダム市の場合と同様であるが、貯水池では強制循環によって水質改善をはかっている。その結果は表—5の通りで有機物や細菌などが著しく減少していることがわかる。

つまりロンドン市の場合も前処理によって十分水質の改善と安定化とを行った上で緩速ろ過を行っていることが判る。

元来、緩速ろ過法は軽度の汚濁に対しては頗る強力な浄化力を発揮するがBOD 3 ppm アンモニア性窒素 0.5ppm、一般細菌数 5000/ml、大腸菌群数5,000/100mlを超すと浄化機能の確保がむずかしいといわれている⁸⁾。そこで前処理によって極力水質改善をはかるという方法は誠に理にかなっているが、さてアムステルダム市やロンドン市で用いられている方法がわが国の緩速ろ過法にも適用できるであろうか。日本の河川のように水質変動が大きい場合には水質の改善とともにその安定化

表—4 ライン河水処理における処理工程別水質表
(アムステルダム市水道1964年平均) mg/l

項 目	ライン水	粗 濾 過	砂丘浸透	一次濾過	二次濾過
色	33	22	18	10	8
E. C.	669	668	775	775	775
KMnO-C	30	25	13	11	9
Cl- HCO ₃ - CO ₂	121 160 7.7	124 149 15.5	135 209 3.2	136 209 3.4	137 207 3.5
PO ₄ ³⁻ pH値 NO ₂	— 7.45 0.21	— 7.10 —	0.125 1.8 <0.05	0.105 7.7 <0.05	0.09 7.7 0
No ₃ NH ₄ ALb. (NH ₄)	11.1 1.8 0.37	17.1 0.5 0.23	1.9 0.33 0.20	3.1 0 0.10	3.3 0 <0.05
D. O. Mn Fe	6.6 0.11 1.5	2.2 — 0.42	8.6 0.10 0.65	7.5 <0.05 <0.05	8.2 0 <0.05
S. S. ABS 大腸菌数(100ml) B. O. D.	27.3 0.12 — —	1.7 0.06 — —	— — 64 2.8	— — 11 1.3	— — 0.034 —

表—5 テームズ河水処理に於ける処理工程別水質表⁶⁾
(ロンドン市水道1964年平均) mg/l

項 目	テムズ河	水貯水池 引出水	濾 過 水	浄 水
NH ₄ -N Alb-N NO ₃ -N	0.63 0.195 5.0	0.35 0.138 4.1		0.066 0.088 4.4
Cl- KMnO ₄ -C(27°C 4H) 濁 度	34 25.4 10.0	34 1.88 2.8		33 1.16 0.2
色 硬 度 総 炭 酸 硬 度	31 262 62	25.5 266 62.5		11 272 64
PH 値 PO ₄ SiO ₂	7.8 1.7 10	7.9 1.4 7.3		7.7 1.3 7.0
ABS 比 導 電 率 BOD	0.32 540 3.8	— 545 —		0.09 550 —
一般細菌数 (ml) 大腸菌群数 (100ml)	2.271 3.770	41 34	15.4 3.2	0 0

をも計らなければならないが、前述の砂丘方式や貯水池方式はたしかにこの目的にかなうものなのである。しかしわが国の立地条件からしてこの種の方法の実現はほとんど不可能であろうと思われる。

したがってわが国においては汚濁河川を水源とし、これを緩速ろ過法によって浄化することは困難であるという結論になる。

ii) 急速ろ過法における対策

汚濁された水を急速ろ過法によって処理することはアメリカにおいて長い間経験されている。例えばポトマック河を水源とするワシントン市の水道ではまず1.5日分の小貯水池に入れたのち次の工程で処理している⁹⁾。

- ① 過剰前塩素処理（消毒，脱臭，生物処理，沈殿汚泥の腐敗防止のため）
- ② 硫酸ばん土注入（凝集沈殿）
- ③ 無水亜硫酸注入（脱塩素して残留塩素を調整する）
- ④ 急速砂ろ過
- ⑤ 弗素添加（むし歯予防）
- ⑥ 消石灰注入（pH調整）
- ⑦ 後塩素注入（消毒）

この他に脱臭の目的で二酸化塩素を注入することがある。

またスケールキル河の水を用いるフィラデルフィア市では上記の他に活性炭およびオゾンを用いる脱臭処理とカルゴンによる防食処理とを行っている。

つまり急速ろ過方式の場合は汚濁の程度に応じて薬品の種類と量とを増して行くより他方法がないことはすでに玉川浄水場で経験済みの通りである。そしてこの方式には経済的にもまた処理水の水質からみても問題があり，さらに日本河川のように水質変動の大きい場合には処理技術的にも難点があることは既に述べた通りである。

(3) 河川の汚濁防止対策

以上で河川の汚濁がある限度を越えると通常の処理方法では処理が不可能になるか少なくとも実用的価値がなくなることが理解されたであろう。そこでどうしても河川水の利用価値を維持するには汚濁がある限度以上進行するのをくいとめなくてはならない。

河川の汚濁防止についてはすでに多くの専門家の意見や現に実施中の施策等があるが，水質特性を基にした私見を簡単に述べてみたい。

さて日本の汚濁河川の水質特性は汚濁成分がナマ（生）であることと汚濁濃度の変動がはげしいことの二つであることを述べた。したがって汚濁防止の主眼は汚濁物質量を減らすとともに水質変動を出来るだけ小さくすることにあるということが出来る。

汚濁物質量を減らすには都市排水をできるだけ河川に流入させないようにすることであり，完全に絶縁できれば無論理想であるが，そんなことは通常不可能であるから十分処理して有機物の酸化分解を進めておくことが第一の対策である。つまり下水道を整備し，すべての都市排水を集めて高級処理を行ない，少くとも無処理の排水が入らないようにすることである。

しかし全部の流入下水が処理されたとしてもこれだけで問題は解決できないのである。なぜなら放流下水を受け入れ希しくするだけの自然流量がなかったら河川の汚濁はやはりまぬがれないからである。例えば将来多摩川流域の全部の下水が処理されたとしても，その全量が流入するとしたら現在の水質とほとんど変わらないという試算がある。それは現在吸い込み（地下浸透）や素掘り下水溝からの浸透によって処分されている大部分の下水が管渠によってまるまる河川に入ってくるようになるので排水総量は現在の10数倍に増加し渇水時には，ほとんど放流下水だけの河となってしまうからである。

現在でも多摩川の汚濁がひどいのは実は渇水期であって豊水期にはライン河よりは勿論のこと，テムズ河に比べてもはるかに良質であることは表-2，3から推察できるであろう。したがって要はこの渇水期の水質悪化を如何にして防止するかにあり，この方策こそ日本河川の汚濁防止策の一特色でなければならない。

ところで渇水期における水質悪化防止策としては二つの方法が考えられる。一つは勿論水量変動を小さくすることで，これが根本的解決策であることはいうまでもないが，これには上流に大規模なダム群を作

って流量を統制する以外に方法がないであろう。

もう一つの方法は渇水期における自浄効果の増進をはかることである。そしてこれには流下時間の延長と河床面積負荷率の減少とが考えられる。つまり渇水期には現在大部分が遊んでいる河川敷の全部を使つてなるべく長い日数をかけて流下させるのである。

この方法については筆者は一私案をもっているが、まだ検討の段階にあるのでここには上記の原則を提示するに止めたいと思うのである。

5 要 結

1) 河川が汚濁されると水質はどのように変わるものかを多摩川を例にとつて検討したところ、酸化途中にある窒素化合物、細菌類および ABS などが特に著しい増加を示すことが判明した。

2) 原水汚濁が水処理にどんな影響を与えるかを処理方式別に検討し、何れも可能なまたは実用上の限度があることを明かにした。

3) 汚濁対策としては汚濁水を如何に処理すべきかという自衛的対策と汚濁そのものを解決するにはどうしたらよいかという積極対策とがあるが、これらの対策を考える基礎として、まず日本河川の汚濁特性を検討し日本の汚濁成分はナマ(生)であること、および濃度変動が大きいことである点を指適した。

4) 汚濁河水を緩速ろ過法によって処理しているヨーロッパの水道の例を示し本処理には徹底した前処理が必要であること、したがってわが国に適應することはむずかしいと考えた。

5) 急速ろ過方式による汚濁水の処理例はアメリカにあるが多種の薬品を使用している点は玉川浄水場と同じで、これにも限界のあることを明かにした。

6) したがって汚濁が進めば水の利用価値を著しく損うことになるが、わが国の汚濁防止対策としては汚濁物質量を減らすと同時に第2の特徴である渇水期における水質悪化を防止することが重要であることを指摘した。

7) 前者の対策としては第1に下水道の整備であるが、後者の方法として河川流量の統制、流下時間の延長、河床負荷率の減少などが考えられる。

引 用 文 献

- 1) 小林康彦他, 水道協誌, No. 399, p. 7 (1967)
- 2) 小島貞男他, 水道協誌, No. 392, p. 2 (1967)
- 3) アムステルダム市水道の資料。
- 4) 小島貞男, 衛生工学ハンドブック, p. 32 (1968)
- 5) 小島貞男, 用水と廃水, 9, 1, 7 (1967)
- 6) TAYLOR, E. W., "41st Rept. on the Results of the Bacteriological, Chemical and Biorological Examination of London Waters for the Yeals 1963-1964", p. 152 (1966) Metropolitan Water Board, London
- 7) RIDLEY, J. E., Proc. of the Soc. Wat. Treat. and Exam., 13, 4, 275 (1964)
- 8) 日本水道協会“水道施設基準”, p. 407 (1966) 日本水道協会。
- 9) 扇田彦一, 米英水道施設視察報告書, p. 429 (1955)